

纳米比亚欢乐谷地区白岗岩型铀矿矿物特征研究

陈金勇^{1,3)}, 范洪海^{1,2,3)}, 陈东欢^{1,3)}, 顾大钊^{1,3)}, 王生云^{1,3)}

1) 核工业北京地质研究院, 北京, 100029; 2) 南京大学成矿作用国家重点实验室, 南京, 210093;
3) 中核铀资源勘查与评价技术重点实验室, 北京, 100029

内容提要: 本文通过系统的岩矿鉴定和电子探针分析, 对纳米比亚欢乐谷地区白岗岩型铀矿的矿物特征进行了详细的研究。该地区铀的赋存形式以独立铀矿物为主, 少量以类质同像形式存在于钍矿物中。铀矿物的主要种类有: 晶质铀矿、钍铀矿、铀石、铀钍石、钛铀矿、沥青铀矿、硅钙铀矿和钒钾铀矿等, 其中, 晶质铀矿、钍铀矿和钛铀矿等原生铀矿物约占 69%, 而反应边状铀石、铀钍石、沥青铀矿、钒钾铀矿和硅钙铀矿等次生铀矿物约占 31%。由此可见, 该区铀矿化主要表现为原始岩浆的分异作用与后期热液改造作用的相互叠加, 其热液改造程度不大, 仅使铀发生内部再分配。

关键词: 独立铀矿物; 类质同像; 白岗岩型铀矿; 纳米比亚欢乐谷地区

纳米比亚位于非洲西南部, 矿产资源非常丰富, 素有“战略金属储备库”的美誉(中国地质调查局发展研究中心, 2007)。现已查明的铀矿床类型主要为侵入岩型、表生型、砂岩型和交代型(张书成, 2010)。纳米比亚罗辛(Rössing)铀矿床是世界上著名的白岗岩型铀矿, 该矿床铀矿化为岩浆结晶分异作用所形成, 其原生铀矿物为晶质铀矿、铌钛铀矿和少量铀钛磁铁矿, 约占 60%; 次生铀矿物以 β -硅钙铀矿为主, 还见有脂铅铀矿、硅钙铀矿、钒钾铀矿、准水硅钙铀矿、钍脂铅铀矿、铜铀云母和准铜铀云母, 约占 40%(Nex and Kinnaird^①; Nex^②)。原生铀矿物存在于石英、长石和黑云母中, 也产于这些矿物之间的裂隙中或沿裂隙分布。次生铀矿物不仅存在于白岗岩中, 而且在部分围岩中也见有产出(Duarte^③)。

目前, 国内已发现的白岗岩型铀矿床为红石泉矿床(王木清等, 1982; 戎嘉树等^④; 涂江汉, 1985; 张诚和金景福, 1987, 1989; 赵建国, 2009)。该矿床与罗辛矿床相类似, 铀的存在形式比较多样, 主要为晶质铀矿, 其次为沥青铀矿、残余铀黑, 还有少量板菱铀矿、钙铀云母以及含铀赤铁矿、含铀绿泥石和锆英石等(王木清等, 1982; 戎嘉树等^④; 赵建国, 2009)。

在自然界各类岩石中, 由于成岩地质条件的不同, 使得铀的赋存形式也明显不同。在理论上, 铀

的赋存形式可分为呈单矿物和呈分散形式两类, 而分散形式又可分为分散吸附和类质同像两种形式(闵茂中等, 2006)。相对于罗辛铀矿床, 纳米比亚欢乐谷地区的研究程度偏低, 对该地区的铀矿物研究更是从未涉及过, 因此, 对该地区白岗岩型铀矿的研究不仅是个补充, 而且具有重要的理论意义和实用价值。本文主要通过系统的岩矿鉴定、QEMSCAN(Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning Electronic Microscopy)分析和电子探针分析, 重点研究了纳米比亚欢乐谷地区白岗岩型铀矿床中铀的赋存形式以及主要铀矿物和含铀矿物的种类, 并发现与罗辛铀矿床所不同的铀矿物, 对白岗岩铀矿化的成因提出新的认识, 为该地区白岗岩型铀矿的深入研究奠定基础。

1 矿区地质概况

纳米比亚的大地构造单元总体上可划分为 3 个: 北部地体、南部地体及中部褶皱带(Damara 造山带)(Corner, 1983; Nex, 2003; Kinnaird and Nex, 2007)。达马拉(Damara)造山带(650 ~ 460 Ma)属于泛非造山带的一部分, 是 Kalahari 和 Congo 克拉通碰撞的产物(Miller, 1983; Oliver, 1994)。其从南到北又可细分为: 北带、北部中央带、南部中央带、

注: 本文为非洲中南部古老地块铀矿综合识别评价技术及应用研究项目的成果。

收稿日期: 2012-11-02; 改回日期: 2013-06-28; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 陈金勇, 男, 1984 年生, 博士研究生, 岩石地球化学专业。通讯地址: 100029, 北京市朝阳区安外小关东里 10 号院核工业北京地质研究院地矿所; Email: jinyong20060309@163.com。

Okahandja 线性构造带、南带和南部边缘带 (Shawn^⑨)。达马拉层序地层的沉积作用发生于中一新元古代 (Brandt, 1985; Miller, 2008), 其最早期变质作用发生于 665 ± 34Ma (Snowden, 2007)。纳米比亚所有花岗岩铀矿化点全部发育于中央带 (Roesener and Schreuder, 1992)。欢乐谷地区大地构造位置归属于达马拉造山带的南部中央带 (图 1)。南部中央带以侵入大量花岗岩和发生高温低压变质作用 (高角闪岩相至麻粒岩相) 为显著特征 (Miller, 1983)。

欢乐谷地区出露的主要地层自下而上有: Abbabis 杂岩体、艾杜西斯组 (Etusis)、可汗组 (Khan)、罗辛组 (Rössing)、楚斯组 (Chuoss)、卡里毕比组 (Karibib)、卡塞布组 (Kuisseb)。Abbabis 基底杂岩以眼球状片麻岩和石英长石片麻岩为主, 含少量泥质片岩、石英岩、大理岩、斜长角闪岩等, 该组片麻岩的年龄约为 2000Ma (Longridge et al. ^⑨)。艾杜西斯组不整合于 Abbabis 变质基底杂岩之上, 主要分布在欢乐谷地区穹窿的核部, 或者背斜的核部, 岩性主要为变质砾岩、石英岩、片岩、片麻岩等。可汗组以岩石呈灰绿色、有大量花岗岩脉侵入为特征, 由辉石石榴片麻岩、片岩、角闪岩、石英岩等组成。罗辛组不整合于可汗组之上, 铀矿化异常主要发育于该地层, 其出露的岩性特征为发育上、下两套大理岩、堇青石片麻岩和石英岩。楚斯组以发育一层冰碛岩为特征, 出露的岩性主要有: 冰碛岩、钙硅质岩和石英岩等。卡里毕比组主要由厚层状大理岩、钙硅质岩、片岩和片麻岩等组成, 其中厚层状大理岩发育强烈的片理化。

2 铀的赋存形式

通过显微镜观察和电子探针研究, 纳米比亚欢乐谷地区铀的赋存形式以呈独立的铀矿物为主, 另有少量类质同像形式的铀存在于钍矿物、锆石、榍石、独居石和磷灰石中, 以及部分铀以铀矿物的形式

存在于独居石 (图 2a)、磷灰石、锆石及磷钼矿等副矿物中。

2.1 呈独立矿物形式的铀

纳米比亚欢乐谷地区铀矿物主要为晶质铀矿、钍铀矿、铀石、铀钍石、钍铀矿、沥青铀矿、硅钙铀矿及钒钾铀矿等。通过 QEMSCAN 分析可知, 在所有铀矿物中, 晶质铀矿平均约占 26.4%, 最高可达 87.5%, 其中可能含有沥青铀矿, 但所占的比重较少; 钍钍氧化物平均约占 42.6%, 最高可达 95%。可见原生铀矿物大致占 69%, 而次生铀矿物约占 31% (表 1)。

(1) 晶质铀矿: 晶质铀矿为该地区主要的铀矿物存在形式, 大部分呈较好的自形晶体 (图 2b), 粒径约为 0.1 ~ 0.3mm, 部分晶质铀矿粒径较大, 可达到 0.5mm。常被造岩矿物如石英、斜长石、钾长石、黑云母等包裹, 晶质铀矿与黑云母、长石等矿物接触部位易形成放射晕圈是显微镜下明显的鉴定特征。

(2) 钍铀矿: 钍铀矿为富含钍的晶质铀矿。多与晶质铀矿、铀石共同出现, 电子探针观察, 钍铀矿的反射色较晶质铀矿低, 但高于铀石的反射色。

(3) 铀石: 铀石是以 U^{4+} 和 SiO_4^{4-} 为主要成分的化合物, 经电子探针测量, 铀石的总量往往达不到 100%, 这是因为铀石中存在一部分水。铀石在该地区分为三种, 一是具有较好的晶形, 晶体呈粒状 (图 2c); 二是由晶质铀矿蚀变而来; 三是呈反应边状围绕在原铀矿物周围, 或与伊利石、黄铁矿、碳酸盐等共生。电子探针分析发现, 铀石中都含有钍, 有的钍含量较高。

(4) 铀钍石: 铀钍石为富含铀的钍石。在显微镜下发现铀钍石内部成分不均一, 造成明显的色差, 经电子探针研究, 色差是由于铀钍石中铀钍含量不同造成, 部分铀钍石中铀的含量较高, 可达到 35%。

(5) 沥青铀矿: 沥青铀矿主要呈细脉状、皮壳状或出现在铀钍石内部裂隙中, 或出现在铀矿物附近矿物的裂隙 (解理) 中, 或出现在附近矿物的空洞中

表 1 铀矿石中铀矿物组分估算表 (%)
Table 1 Estimated composition of the uranium minerals (%)

矿物	化学式	ZH02-M01	ZH02-M02	ZH02-M03	Yb0939	Yb0968
晶质铀矿	~ UO ₂	0.001	0.000	0.002	0.070	0.000
钍钍氧化物	~ (Ca, U) ₂ (Ti, Nb, Ta) ₂ O ₆ OH	0.041	0.001	0.076	0.000	0.000
硅钙铀矿/铀硅酸盐	~ Ca (UO ₂) ₂ SiO ₃ (OH) ₂ · 5H ₂ O	0.041	0.009	0.002	0.010	0.020
钒钾铀矿	~ K ₂ (UO ₂) ₂ (VO ₄) ₂ · 1 ~ 3H ₂ O	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000
铀矿物总量		0.085	0.012	0.080	0.080	0.020

注: 样品由 SGS South Africa, Mineralogical Services 测定。

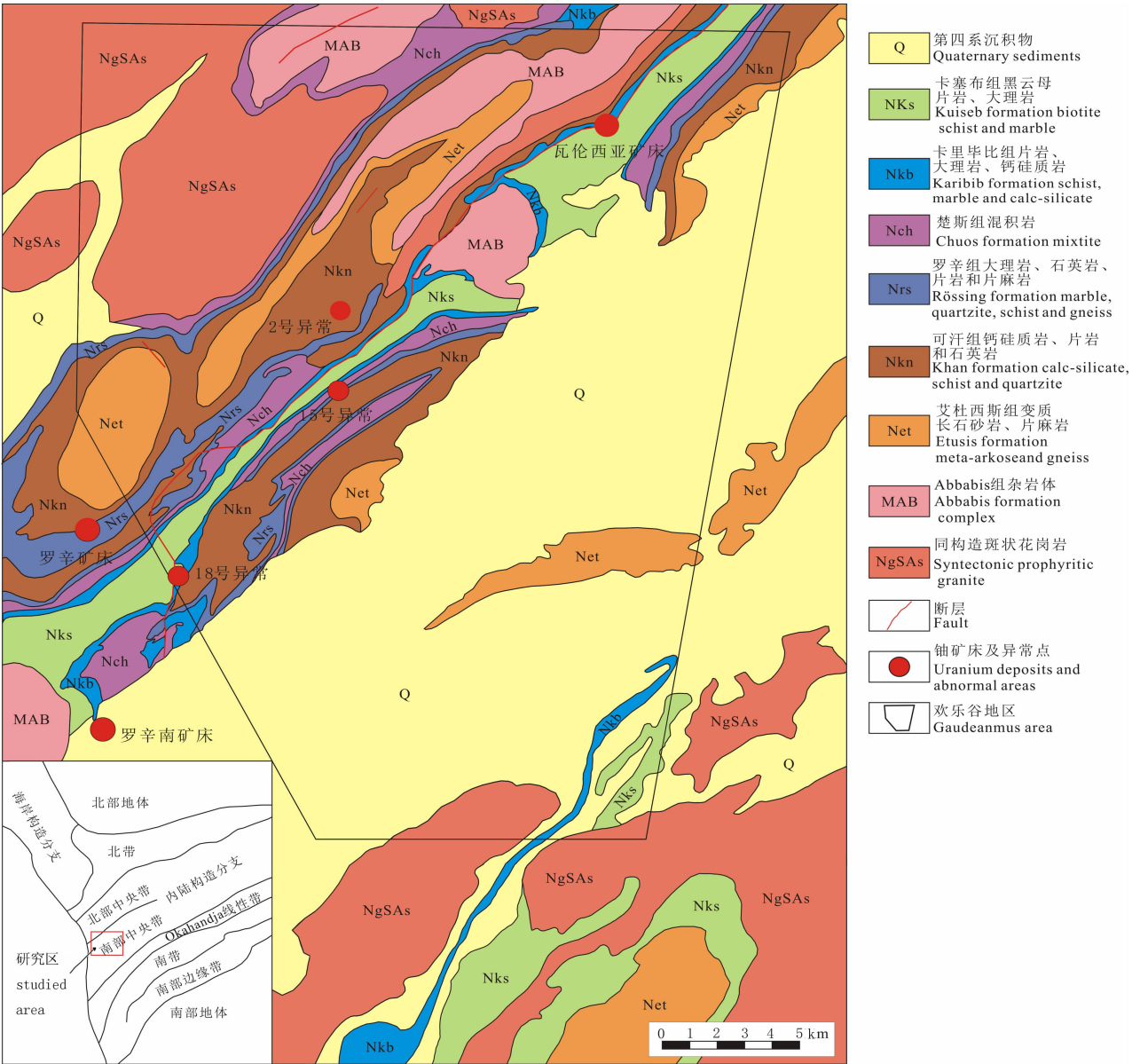


图 1 纳米比亚欢乐谷地区地质简图及铀异常点分布图

Fig. 1 Geological diagram of Gaudeanmus area, Namibia; showing the location of significant uranium anomalies

形成皮壳状沥青铀矿。

(6) 钛铀矿：钛铀矿通常与晶质铀矿共同出现，属于原生铀矿物。该地区岩石中含有许多含钛的副矿物，如金红石、锐钛矿等。

(7) 硅钙铀矿：镜下观察硅钙铀矿主要以集合体的形式存在，集合体呈放射状、束状、脉状、网脉状和隐晶质致密块状，或以脉状形式充填在矿石的解理、裂隙及粒间，而隐晶质致密块状形式可能为晶质铀矿原地氧化形成的。

2.2 钍矿物中类质同像形式的铀

在高温条件下， U^{4+} 与 Th^{4+} 之间可进行等价的

类质同像置换。欢乐谷地区存在较多的钍石，透射光下为黑色不透明，均质，粒度约为 0.1 ~ 0.3mm，部分钍石由于成分的差异而形成环带构造（图 2d），有的钍石被黄铁矿所包围，且内部及边缘含有少量铀钍石。钍石中 UO_2 的质量百分含量为 1.32% ~ 11.34%（表 2）。锆石、榍石、独居石和磷灰石等矿物中也含有类质同像的铀，主要置换矿物中的 Ca^{2+} 及 REE^{4+} 。这种形式的铀不具实际意义，并不构成矿化过程铀增量，因此，仅是白岗岩型铀矿中铀的一种次要赋存形式。

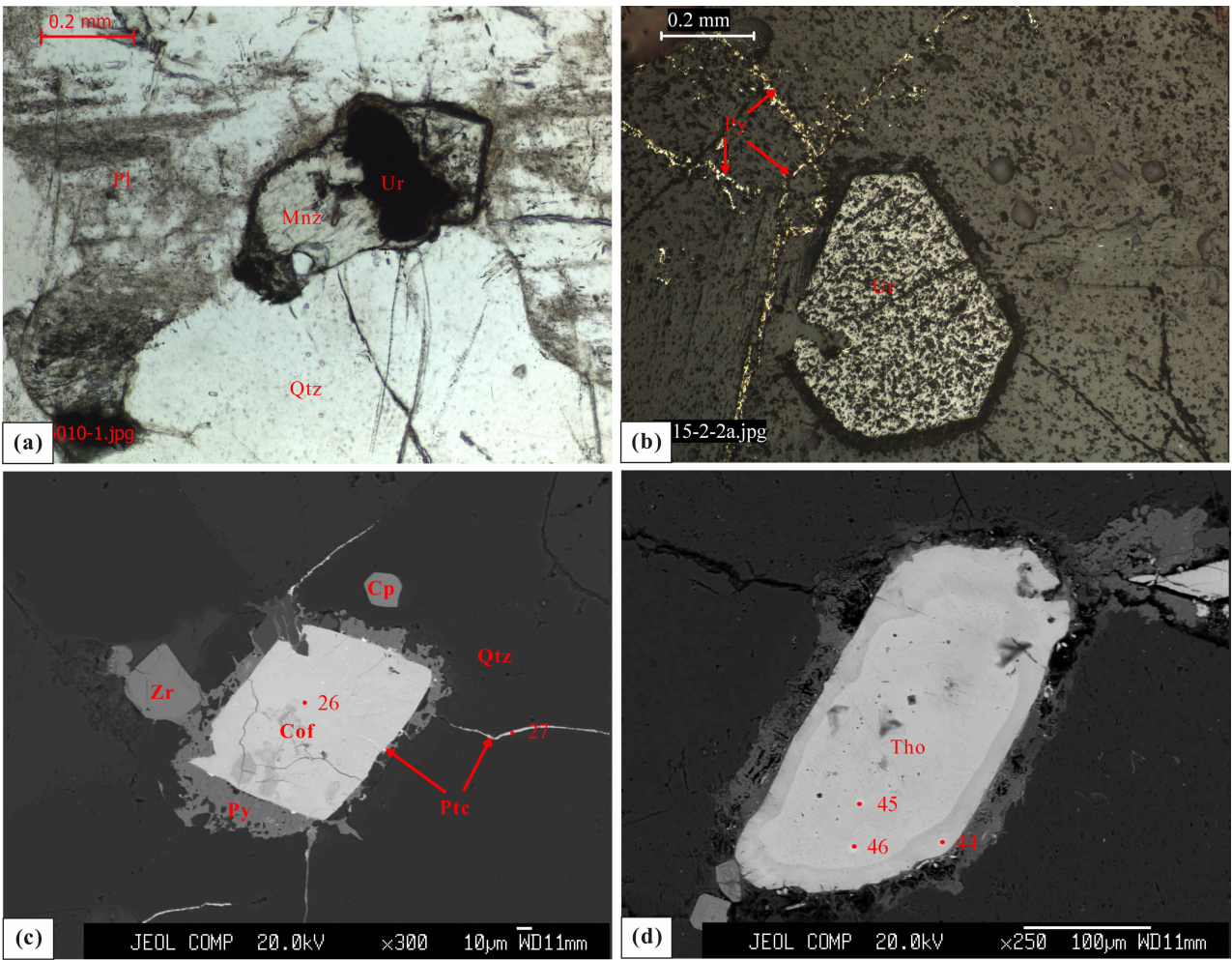


图 2 (a) 晶质铀矿 (Ur) 位于独居石 (Mnz) 中 (单偏光); (b) 自形程度高的晶质铀矿 (Ur), 附近有黄铁矿脉 (Py) (反射光); (c) 自形铀石 (Cof) 被黄铁矿 (Py) 包围, 及周围石英 (Qtz) 中见有沥青铀矿脉 (Ptc) (电子探针背散射图); (d) 钍石 (Tho) 由于成分差异造成的环带构造 (电子探针背散射图)

Fig. 2 (a) Uraninite located in the monazite (single polarizer); (b) Idiomorphic uraninite and pyrite vein nearby (reflected light); (c) Idiomorphic coffinite is surrounded by pyrite, and pitchblende is in the quartz (Backscatter SEM image); (d) The girdle structure of thorite is caused by the componential differences (Backscatter SEM image)

3 铀矿物成分

各种铀矿物化学成分的电子探针分析结果列于表 3。由表 3 中的分析数据可见:

(1) 晶质铀矿以 UO_2 、 ThO_2 和 PbO 为主, 含少量 TiO_2 , 没有明显的相关性。前三者的含量分别为 82.40% ~ 91.36%、1.15% ~ 8.68%、4.25% ~ 6.33%, 其中 Pb 含量明显高于其他含铀矿物中的 Pb 含量, 主要为放射性衰变成因的铅, 因为晶质铀矿比其他铀矿物 U 含量高, 从而衰变成因的铅含量比其他铀矿物高所致。

(2) 铀石的 UO_2 、 SiO_2 含量分别为 53.41% ~

72.90%、8.18% ~ 18.76%, 部分铀石中 ThO_2 含量较高, 可达 24.76%。铀石电子探针分析的氧化物总量仅为 90.60% ~ 94.52%, 表明铀石含有较多的 H_2O , 其形成温度较低。

(3) 钍铀矿、铀钍石、沥青铀矿、钽铀矿和硅钙铀矿中 UO_2 的含量分别为 55.03% ~ 66.22%、18.55% ~ 36.92%、85.96% ~ 87.43% 及 54.27%, 硅钙铀矿中 UO_3 的含量是 49.98% ~ 68.10%。

(4) 该地区也应该注意钍矿物的存在, 几乎各种铀矿物都含有 ThO_2 , 其平均含量为 15.90%。钍的主要存在形式有两种: 一种是以钍为主的矿物形式出现, 如钍石; 另一种是以类质同像的形式存在于

表 2 钍电子探针成分分析表(%)

Table 2 Results of electronic probe analyses of thorium minerals(%)

样品号	UO ₂	ThO ₂	TiO ₂	PbO	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	As ₂ O ₅	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	Y ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	SO ₃	Ce ₂ O ₃	MnO	LaO ₂	总量
ZK0-11-7	3.48	62.81	0.077	0.11	17.39	0.039	0.037	0.021	0.011	0.81	0.33	1.25	3.01	2.39	0.29	0.18	0.042	—	92.27
	3.54	60.93	0.092	1.32	16.45	0.084	0.057	—	0.076	0.57	0.31	1.69	2.99	1.81	0.096	0.093	—	0.1	90.22
ZK11-11-2	11.34	49.79	0.001	0.2	13.75	0.018	0.12	—	0.068	0.16	0.43	2.36	3.13	1.84	0.047	1.25	—	0.19	84.68
	7.53	54.59	—	0.13	15.02	0.007	0.048	—	0.075	0.11	0.12	2.52	3.31	1.51	0.092	0.67	—	0.29	86.02
	8.01	53.3	0.008	0.14	15.05	—	0.075	—	0.045	0.097	0.27	2.51	3.14	1.45	0.062	1.37	0.033	0.33	85.91
ZK20-1-5	1.32	65.5	0.11	0.12	19.4	0.018	0.06	0.049	0.049	—	0.55	0.3	0.017	1.27	—	0.68	—	0.05	89.5

注:样品由核工业北京地质研究院分析测试中心探针室测定,仪器型号为 JXA8600/eXL 电子探针分析仪。

表 3 纳米比亚欢乐谷地区铀矿物电子探针成分分析表(%)

Table 3 Results of electronic probe analyses of uranium minerals in the Gaudeamus area, Namibia(%)

样品号	UO ₂ 或 UO ₃	ThO ₂	TiO ₂	PbO	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	As ₂ O ₅	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	Y ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	SO ₃	Ce ₂ O ₃	MnO	LaO ₂	含量	矿物
15001	54.27	1.13	32.41	1.32	0.35	—	0.17	—	0.05	0.36	1.76	0.26	0.05	2.92	0.13	—	0.12	—	95.29	钛铀矿
15006	91.36	1.15	0.09	4.25	0.08	0.31	0.20	0.09	0.03	—	—	1.07	—	0.94	—	0.16	0.13	—	99.86	晶质铀矿
15010	53.41	24.76	0.35	0.05	8.18	0.04	0.20	—	0.12	0.59	0.35	0.15	0.07	2.11	0.08	0.62	0.09	0.36	91.51	含钍铀石
ZK0-11-3	85.63	7.73	0.08	5.69	0.04	0.14	0.14	—	—	0.01	—	0.44	0.03	0.08	—	0.07	0.00	—	100.08	晶质铀矿
	66.22	21.09	0.22	4.70	0.87	0.24	0.14	—	0.05	0.02	0.21	0.59	0.11	2.53	0.05	0.17	0.31	—	97.55	钍铀矿
	18.55	39.25	—	0.15	16.88	0.06	0.10	0.02	0.04	0.08	0.02	2.65	2.34	2.65	0.04	0.08	0.02	—	82.94	钍钍石
ZK0-11-6	36.92	33.94	0.08	0.25	16.55	—	0.06	—	0.03	—	—	0.98	1.79	2.63	0.01	0.09	—	—	93.31	钍钍石
ZK0-11-7	85.33	8.17	0.03	5.76	0.04	0.18	0.14	0.02	0.01	—	—	0.32	—	0.29	0.04	0.28	—	0.03	100.65	晶质铀矿
ZK11-11-1	72.90	0.41	—	0.03	17.32	0.23	2.13	0.04	0.11	0.34	0.10	0.00	0.09	0.65	0.03	0.02	0.04	0.08	94.52	铀石
	87.43	0.70	0.07	0.85	3.79	0.42	0.27	0.11	—	0.19	3.91	0.02	0.33	4.07	5.91	0.10	0.01	1.32	109.49	沥青铀矿
	85.96	—	0.03	0.27	4.17	0.31	0.17	0.01	0.04	0.38	1.20	—	0.10	6.39	0.38	0.12	—	0.31	99.85	沥青铀矿
	29.45	38.79	0.03	0.10	15.67	—	0.10	—	0.10	0.16	0.14	1.67	1.97	1.67	0.44	0.08	—	0.33	90.70	钍钍石
ZK11-11-12	82.40	8.68	0.06	6.33	0.06	0.12	0.12	—	0.01	—	—	0.40	—	0.20	0.04	0.27	—	0.10	98.80	晶质铀矿
ZK11-11-15	36.26	36.41	0.08	0.08	16.93	0.07	0.08	0.05	—	—	0.23	1.07	1.84	1.39	—	0.09	0.03	0.00	94.59	钍钍石
	85.59	8.27	—	5.68	—	0.03	0.13	0.07	—	—	0.03	0.62	—	—	0.01	0.46	0.07	—	100.93	晶质铀矿
	55.03	39.47	0.29	1.09	0.88	0.14	0.12	—	0.04	0.03	0.25	0.40	0.42	2.31	—	0.07	0.18	—	100.74	钍铀矿
ZK15-2-3	68.10	—	—	0.00	15.59	0.12	0.22	0.03	—	0.03	—	—	0.05	5.79	0.00	0.19	0.04	—	90.16	硅钙铀矿
ZK15-2-7	69.25	0.74	0.03	0.53	14.12	0.08	0.16	0.04	0.03	0.01	0.05	0.22	0.05	5.58	0.02	0.15	—	—	91.07	硅钙铀矿
ZK15-2-7	49.98	13.19	0.07	0.12	15.51	0.05	0.18	—	0.03	0.18	0.25	1.49	0.10	4.94	0.11	0.12	—	0.02	86.33	硅钙铀矿
ZK15-2-8	89.54	2.23	0.06	5.33	0.15	0.01	0.16	—	—	—	0.05	0.86	—	0.57	0.04	0.22	0.06	—	99.28	晶质铀矿
ZK15-2-9	63.65	—	0.57	0.01	18.76	—	0.11	—	0.06	0.86	0.04	2.18	0.70	1.21	0.05	1.98	—	0.41	90.60	铀石

注:样品由核工业北京地质研究院分析测试中心探针室测定,仪器型号为 JXA8600/eXL 电子探针分析仪。

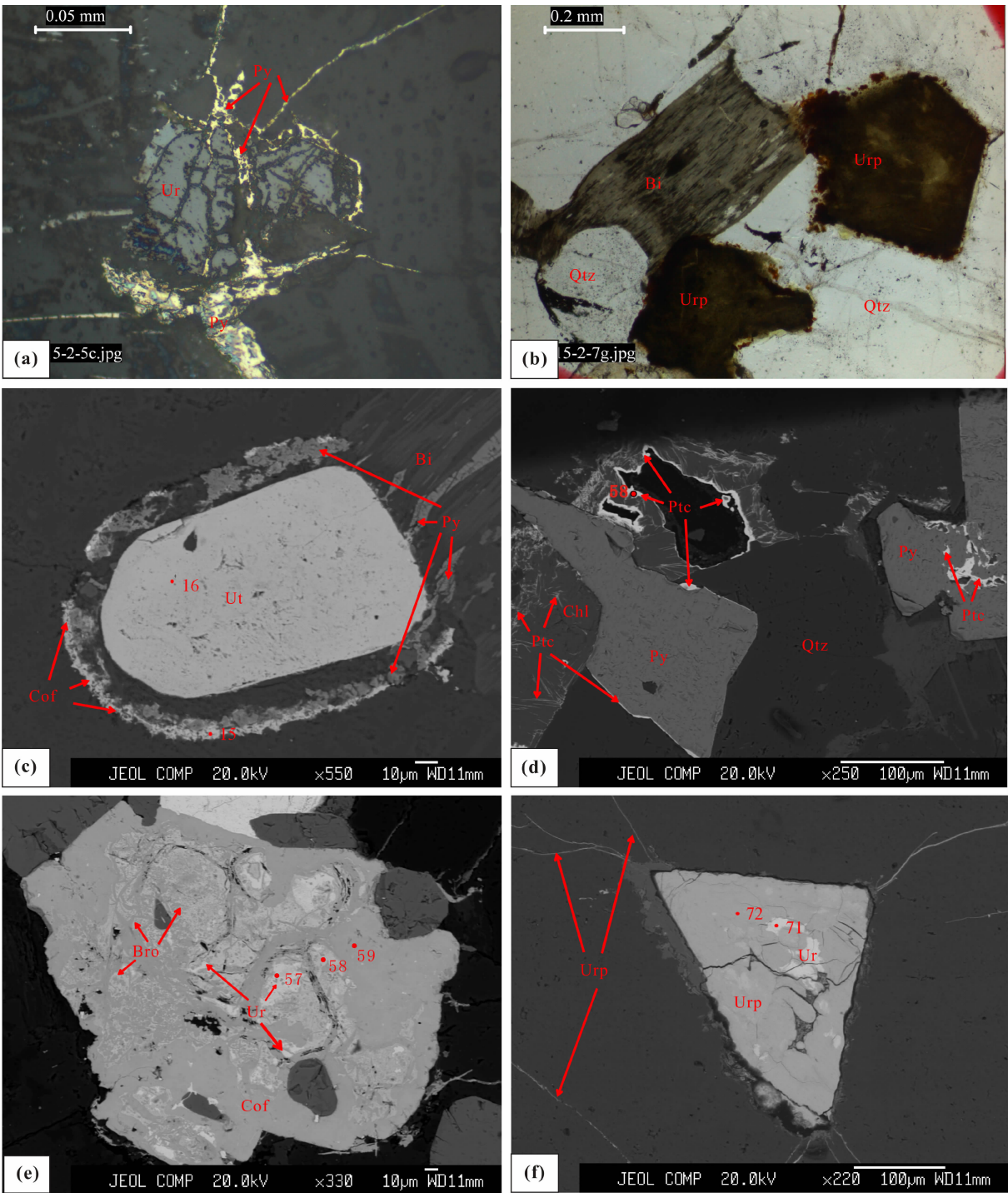


图 3 (a) 黄铁矿脉(Py)充填在晶质铀矿(Ur)裂隙中(反射光);(b) 硅钙铀矿,呈隐晶质致密粒状(单偏光);(c) 铀钍石(Ut)被黄铁矿(Py)和铀石(Cof)所包围(电子探针背散射图);(d) 皮壳状沥青铀矿(Ptc)和细脉状沥青铀矿(Ptc)(电子探针背散射图);(e) 含钍铀石(Cof)中含有钍铀矿(Bro)和晶质铀矿(Ur)残余(电子探针背散射图);(f) 硅钙铀矿(Urp)中含有晶质铀矿(Ur)残余,边缘裂隙中见脉状硅钙铀矿(电子探针背散射图)

Fig. 3 (a) The cracks of uraninite are filled by pyrite vein(reflected light); (b) Uranophane is a cryptocrystalline dense granular (single polarizer); (c) Uranothorite is surrounded by pyrite and coffinite (Backscatter SEM image); (d) Crusty pitchblende and veined pitchblende (Backscatter SEM image); (e) Coffinite contain residual thor-uraninite and uraninite (Backscatter SEM image); (f) Uranophane contain residual uraninite, and which edge cracks are filled by veined uranophane (Backscatter SEM image)

各种铀矿物中。

4 铀矿化特征

铀矿物种类的研究表明,该区主要铀矿物为自形程度高的单颗粒的晶质铀矿(图 2b)。晶质铀矿在后期出现不同程度的碎裂(图 3a)、溶蚀等现象。铀石包裹着晶质铀矿及钍铀矿,使晶质铀矿与钍铀矿呈残余状(图 3e),表明后期部分晶质铀矿向铀石转变。

如上所述,在欢乐谷地区,铀石主要以三种形式存在,其中第二种存在形式即由晶质铀矿蚀变而来的形式,正是由于岩浆晚期的自交代热液活动使晶质铀矿发生了变化,出现了晶质铀矿向(含钍)铀石转变的一个过程(图 3e),铀石由两侧向中心生长,包裹着钍铀矿残余,而钍铀矿中包裹着晶质铀矿。造成这种现象的原因为晶质铀矿、钍铀矿形成于成岩过程中,其后可能是岩浆晚期的自交代热液中 Si 的浓度较高,伴随着原晶质铀矿及钍铀矿中的铀、钍活化,使晶质铀矿转变为(含钍)铀石,且向四周扩散。

第三种存在形式为反应边状的铀石(图 3c),主要出现在其它矿物的四周。这可能与附近铀矿物中 U 的活化有关,但这种铀石主要沉淀在距离铀矿物不远的地方,表明这期 U 活动能力并不强。反应边状铀石主要沉淀在黄铁矿的外侧,表明铀石或与黄铁矿同时生成,或晚于黄铁矿生成。由显微镜观察和电子探针分析可知,黄铁矿或充填在晶质铀矿的裂隙中,或分布于晶质铀矿、铀钍石等周围(图 3c),表明黄铁矿的形成时间晚于铀钍石,从而说明这期铀石活动晚于晶质铀矿的形成时间。

显微镜下观察发现,沥青铀矿主要呈细脉状、浸染状、皮壳状。分布于黄铁矿的边缘及内部的空洞中,或绿泥石(由黑云母蚀变而来)的解理中(图 3d),说明沥青铀矿的形成晚于黄铁矿及绿泥石。沥青铀矿出现的附近都存在着铀石、铀钍石(图 2c),如铀石、铀钍石,故可认为沥青铀矿的出现与邻近含铀矿物中铀的活化有关,即可能为铀石、铀钍石经热液交代后的产物。不过,相对于晶质铀矿、铀钍石和铀石而言,沥青铀矿仅占少量。因此,可以推断,岩浆期后存在热液活动,但是对白岗岩型铀矿的改造程度并不大。

硅钙铀矿为次生铀矿物,主要表现为两种形式:一种为保留原晶质铀矿形态原地氧化转变而来,呈隐晶质致密粒状(图 3b);另一种为由晶质铀矿活化

出的铀经过反应沉淀,沿着岩石解理、矿物裂隙及粒间呈脉状、网脉状出现(图 3f),有的脉体中存在其它金属矿物,如辉钼矿、方铅矿等。

综上所述,欢乐谷地区铀矿化主要表现为原始岩浆的结晶分异以及后期热液的改造作用,主要表现为结晶分异作用形成的晶质铀矿呈分散状分布于各种造岩矿物中。由于晶质铀矿遭受到挤压作用,尔后岩浆晚期的自交代热液作用导致晶质铀矿发生破碎、溶蚀,使部分铀稍有迁移,铀(钍)石交代晶质铀矿,使晶质铀矿呈残余状,并伴随有热液活动,使黄铁矿充填在晶质铀矿裂隙中,或包裹着晶质铀矿;反应边状铀石与黄铁矿外侧胶结,围绕着铀钍石,以及沥青铀矿呈细脉状、皮壳状或出现在铀钍石内部裂隙中,或出现在铀矿物附近矿物裂隙解理中,或出现在附近矿物的空洞中,均说明后期存在热液的改造,但是改造的程度不大,主要使铀发生了内部的再分配;最后,晶质铀矿等铀矿物由于近地表,发生表生氧化形成硅钙铀矿,呈浸染状、脉状和网脉状沿着岩石解理、矿物裂隙及粒间分布。

5 结论

(1) 纳米比亚欢乐谷地区白岗岩型铀矿床中铀主要呈独立的铀矿物形式存在,主要的铀矿物有:晶质铀矿、钍铀矿、铀石、铀钍石、钍铀矿、沥青铀矿、钒钾铀矿及硅钙铀矿等。其中,晶质铀矿、钍铀矿和钍铀矿等原生铀矿物约占 69%,而反应边状铀石、铀钍石、沥青铀矿、钒钾铀矿和硅钙铀矿等次生铀矿物约占 31%。少量铀以类质同像的形式存在于钍矿物、锆石、榍石、独居石和磷灰石中,以及部分铀以铀矿物形式存在于独居石、磷灰石、锆石及磷钇矿等副矿物中。

(2) 纳米比亚欢乐谷地区白岗岩型铀矿矿化大致可以分为三期:第一期岩浆结晶分异形成晶质铀矿,并受到挤压作用,发生破碎、溶蚀,铀(钍)石交代晶质铀矿,使晶质铀矿呈残余状;第二期反应边状铀石与黄铁矿外侧胶结,沥青铀矿呈细脉状分布于绿泥石的裂隙中以及铀石、铀钍石等附近,或呈皮壳状出现在附近矿物的空洞中,两者均与后期的热液活动有关,其对白岗岩矿化的改造程度并不大,仅使铀发生了内部的再分配;第三期为硅钙铀矿交代晶质铀矿等铀矿物,或呈浸染状分布于各种造岩矿物粒间,或呈脉状、网脉状沿着岩石解理、矿物裂隙分布。

(3) 罗辛白岗岩型铀矿床的矿化为岩浆结晶分

异作用所形成,而本文由于沥青铀矿、反应边状铀石的发现,从而说明白岗岩型铀矿受到后期热液的改造,使铀发生了内部的再分布,因此,欢乐谷地区的铀矿化为原始岩浆的结晶分异以及后期热液的改造作用所形成。

致谢:野外工作和 QEMSCAN 分析得到了中核资源(纳米比亚)开发公司的大力帮助和支持,特别是总工程师朱西养的悉心指导;室内工作得到了戎嘉树研究员的指导和帮助;以及审稿人提出了宝贵的修改建议;在此致以诚挚的感谢!

注 释 / Notes

① 戎嘉树,韩泽宏,夏毓亮. 1983. 红石泉伟晶状白岗岩型铀矿化特征及成因探讨. 核工业北京地质研究院(原北京三所).

② Duarte V H. 2006. Mineralogical characterisation of a Rössing uranium ore milled to 60% passing 75 μ m. Mintek, 3 ~8.

③ Longridge L, Gibson R L, Kinnaird J A, Armstrong R A. 2008. Timing of deformation and granite emplacement in the Central Zone of the Damara Orogen, Namibia. School of Geosciences, University of the Witwatersrand Johannesburg.

④ Nex P A M and Kinnaird J A. 2005. An investigation of the proportions of betafite, uraninite and secondary uranium minerals in SJ pit samples, 1 ~35.

⑤ Nex P A M. 1997. Tectono-metamorphic setting and evolution of granitic sheets in the Goanikontes area, Namibia. supervisor: Kinnaird J A. Ph. D. Thesis of National University of Ireland.

⑥ Shawn Kitt. 2008. Structural controls of auriferous quartz veins in the Karibib area, southern central zone of the Pan-African Damara belt, Namibia. Supervisor: Alex Kisters. Master's thesis of Stellenbosch University.

参 考 文 献 / References

闵茂中,彭新建,王果,殷建华. 2006. 我国西北地区层间氧化带砂岩型铀矿床中铀的赋存形式. 铀矿地质, 22(04): 193 ~201.

涂江汉. 1985. 再谈红石泉铀矿床成因的若干问题. 铀矿地质, 1(6): 53 ~58.

王木清,涂江汉,伍舒梅,朱德令,张布生. 1982. 红石泉矿床含矿主岩及矿化特征. 世界核地质科学, (5): 390 ~396.

张诚,金景福. 1987. 红石泉铀矿床铀的迁移形式及沉淀机制. 中国地质科学院西安地质矿产研究所刊, (19): 65 ~74.

张诚,金景福. 1989. 红石泉铀矿床黑云母与晶质铀矿同步富集作

用探讨. 岩石矿物学杂志, (3): 242 ~250.

张书成,谈成龙. 2010. 非洲三国铀矿. 北京:核工业北京地质研究院. 1 ~149.

赵建国,王龙成. 2009. 红石泉铀矿床矿化特征及成因类型探讨. 黄金科学技术, 19(1): 38 ~41.

中国地质调查局发展研究中心. 2007. 应对全球化:全球矿产资源信息系统数据库建设(之七)非洲卷:利比里亚、莫桑比克、纳米比亚. 1 ~216.

Brandt R. 1985. Preliminary report on the stratigraphy of the Damara sequence and the geology and geochemistry of Damaran granites in an area between Walvis Bay and Karibib. Communications of the Geological Survey of Namibia, 1: 31 ~43.

Corner B. 1983. An interpretation of the aeromagnetic data covering the western portion of the Damara Orogen in South West Africa/Namibia. Special Publication of the Geological Society of South Africa, 11: 339 ~354.

Coward M P. 1983. The tectonic history of the Damara belt. In: Miller R McG. Ed. Special Publication of the Geological Society of South Africa, 11: 409 ~421.

Kinnaird J A and Nex P A M. 2007. A review of geological controls on uranium mineralization in sheeted leucogranites within the Damaran Orogen, Namibia. Applied Earth Science (Trans. Inst. Min. Metall. B), 116(2): 68 ~85.

Miller R McG. 1983. The Okavango Lineament, a fundamental tectonic boundary in the Damara Orogen of South West Africa/Namibia. Transactions of the Geological Society of South Africa, 82: 349 ~361.

Miller R McG. 2008. The Geology of Namibia, Vols. I and II. Geological Survey of Namibia Special Publication.

Nash C R. 1971. Metamorphic petrology of the S J area, Swakopmund District, South West Africa. Bulletin of the Precambrian Research Unit, 9: 77.

Nex P A M, Kinnaird J A, Herd D A. 2003. The occurrence, mineralogy and chemistry of betafite and pyrochlore from sheeted leucogranites of the Rössing area, Namibia: implications for the composition of Ceramics for radioactive waste disposal. Economic Geology Research Institute Information Circular, 374: 1 ~20.

Oliver G J H. 1994. Mid-crustal detachment and domes in the central zone of the Damaran Orogen, Namibia. Journal of African Earth Sciences, 19: 331 ~344.

Roesener H and Schreuder C P. 1992. 'Nuclear and Fossil Fuels-Uranium' in Mineral Resources of Namibia. Namibia: the Ministry of Mine and Energy, and the Geological Survey, 1 ~62.

Snowden. 2007. Forsys Metals Corp: Valencia Project, Namibia. Australia: Perth Office, 1 ~110.

Research on the Characteristics of Uranium Minerals of Alaskite-type Uranium Deposit in the Gaudeanmus Area, Namibia

CHEN Jinyong^{1, 3)}, FAN Honghai^{1, 2, 3)}, CHEN Donghuan^{1, 3)}, GU Dazhao^{1, 3)}, WANG Shengyun^{1, 3)}

1) Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing, 100029;

2) Department of Earth Sciences and State Key Laboratory of Mineral Deposit Research, Nanjing University, Nanjing, 210093;

3) Key Laboratory of Uranium Resource Exploration and Evaluation Technology, CNNC, Beijing, 100029

Abstract: Based on microscope and electron microprobe techniques, this paper studies in detail the characteristics of uranium minerals of alaskite-type uranium deposit in the Gaudeanmus area, Namibia. The results indicates that uranium mainly exists as independent uranium minerals, and partially exists in thorium minerals as isomorphic form. The uranium minerals are uraninite, thor-uraninite, coffinite, uranothorite, brannerite, pitchblende, uranophane and carnotite. The primary uranium minerals, such as uraninite, thor-uraninite and brannerite, account for about 69%, and the secondary uranium minerals, such as coffinite, uranothorite, pitchblende, uranophane and carnotite, approximately account for 31%. To sum up, uranium mineralization manifests multiplex affects of primarily magmatism and later hydrothermal reformation and hydrothermal reformation is not strongly by which uranium was merely redistributed internally in the study area.

Key words: independent uranium minerals; isomorphism; alaskite-type uranium deposit; Gaudeanmus area, Namibia

《地质学报》(英文版)征集综述和古生物类论文

《地质学报》英文版, *ACTA GEOLOGICA SINICA* (English Edition), 被 SCI、CA、BIG 等 20 余家国际数据库和网站收录, 在 SCI 上的影响因子多年居于 1.5 ~ 2.15 之间。该刊与 Willy – Blackwell 出版公司合作出版电子版, 并在后者的网站上全文上网, 网址是: <http://mc.manuscriptcentral.com/ags>; 在国内, 该刊网址是: <http://www.geojournals.cn/dzxben/ch/index.aspx>; 登陆任何一个网址均可实现投稿、阅读、查询、下载等功能。

近日, 该刊特别征集综述类和古生物类论文 (详见 <http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx> 的公告栏)。

公告指出, 随着矿业经济的突飞猛进, 全球地学研究工 作都有所提升, 上天、入地、下海、登极, 从宏观到微观, 从过去到未来, 处处有地质工作者的身影, 取得了许多重要的成果, 急需各领域的专家梳理总结, 以更好地指导学科的发展。

为此, 《地质学报》(英文版) 常年征集综述性 (Review) 论文。

公告指出, 近年来, 国际读者对《地质学报》(英文版) 登 载的古生物研究成果给予了高度关注和重视, 为适应国际读 者要求, 《地质学报》(英文版) 常年征集古动物、古植物等所 有种属的最新研究论文。

该公告要求上述两类文章的投稿作者 (或作者群) 具备 高度的国际视野, 古生物学文章的作者最好曾经发表过 SCI 论文 (至少团队中有专家发表过); 综述作者更必须对国际学 科进展、代表性专家的论文非常熟悉, 曾经发表过一定数量 的 SCI 论文 (团队中有专家发表过也可), 或者与国外专家合 作完成过综述性论文。

公告要求, 上述两类论文要多引 SCI 文章, 古生物学论 文一般要 30 篇以上, 综述文章要 50 篇以上。